

1. Используется доступное рабочее тело – атмосферный воздух;
2. Не требует горных рельефов или больших подземных геологических формаций, как в случае с использованием компримированного воздуха;
3. Применяемые материалы, аппараты и оборудование не требуют специальных разработок;
4. Жидкий воздух занимает минимальный объем при хранении;
5. Отсутствие выбросов в атмосферу вредных веществ;
6. Возможность совместной работы с установками нетрадиционной возобновляемой энергетики и интеграции в систему Smart Grid.

Список использованных источников

1. Глобальная информационная база хранения энергии DOE [Электронный ресурс]. URL: [www.energystorageexchange.org.](http://www.energystorageexchange.org/) / (дата обращения 20.11.2017).
2. Жидкий азот. Передовые технологии производства газов Ндва [Электронный ресурс]. URL: http://www.ndva.ru/gazi/zhidkiy_azot.html (дата обращения 20.11.2017).
3. Санников В. Криоэнергетика: криогенная электростанция // Популярная механика. 2012. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/12689-prodavtsy-vozdukha-krioenergetika/> (дата обращения 20.11.2017).
4. Highview Power Storage [Электронный ресурс]. URL: <http://www.highview-power.com> (дата обращения 20.11.2017).

УДК 621.316

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

COMPARATIVE ASSESMENT OF METHODS FOR HYDROGEN PRODUCTION

Кузнецов О. А., Балугев А. С., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
s8a7s9h7a@yandex.ru

Аннотация: В современном мире водородная энергетика считается одной из самых перспективных и быстроразвивающихся отраслей. Рабочим топливом всех агрегатов водородной энергетике, является чистый водород. Водород хоть и является самым распространенным элементом на Земле, но найти его в чистом виде практически невозможно. Насчитывается десятки методов производства водорода из различных источников. В данной статье приводится несколько методов синтеза водорода, их краткое описание и сравнительный анализ.

Abstract: In the modern world hydrogen energy is considered one of the most promising and growing industries. Working fuels of all units of hydrogen energy, is pure hydrogen. Though hydrogen is the most abundant element on Earth, but find it in its pure form is almost impossible. There are dozens of methods of hydrogen production from different sources. This article describes several methods for the synthesis of hydrogen, their brief description and comparative analysis.

Ключевые слова: водород; энергетика; электролиз; экология; термолиз; методы производства; сравнение.

Ключевые слова: hydrogen, energy, electrolysis, ecology, thermolysis, production methods, comparison.

В качестве элемента водород можно найти во многих веществах в природе. Методы получения водорода, оцененные в этой статье, представлены в табл. 1, которая описывает некоторые методы синтеза водорода [1].

Сравнение методов по влиянию на окружающую среду. Выбросы CO₂ считаются первичными источниками глобального потепления при их неблагоприятном воздействии на окружающую среду и здоровье человека. Мерой выбросов CO₂, при производстве водорода, является: потенциал глобального потепления (ПГП) (кг-экв. CO₂), аналогичной

мерой выбросов SO_2 является потенциал подкисления (ПП) (г-экв SO_2).

Степень выброса вредных веществ при производстве водорода, т. е. количество кг CO_2 /кг H_2 и кг SO_2 /кг H_2 в данном методе производства, данные исследования литературы представлены на рис. 1 [1].

Финансовое сравнение. Когда дело доходит до расчета стоимости производства водорода, существует несколько неопределенностей, поскольку на стоимость сильно влияет уровень продвижения технологии производства, доступность существующей инфраструктуры и цены на сырье. Результаты исследования литературных данных по средним издержкам производства водорода (долларов США на килограмм водорода) представлены на рис. 2 [1].

Таблица 1

Методы получения водорода

Метод	Первичный материал / первичная энергия	Краткое описание процесса
М1. Электролиз (Electrolysis)	Вода / Электрическая	При пропускании электрического тока через воду, происходит электрохимическая реакция расщепления воды на O_2 и H_2
М2. Термолиз (Thermolysis)	Вода / Электрическая	Термическое разложение воды (пара) при температурах свыше 2500 К
М3. Термохимический процесс расщепления воды (Thermoshemical water splitting)	Вода / Термическая	Химические реакции разделения воды на H_2
М4. Преобразование биомассы (Biomass conversions)	Биомасса / Термическая	Термокаталитическая конверсия
М5. Газификация биомассы (Biomass gasification)	Биомасса / Термическая	Преобразование биомассы в синтез-газ
М6. Реформинг биомассы (Biomass reforming)	Биомасса / Термическая	Преобразование жидкой биомассы (биотоплива) в H_2
М7. Фотоэлектрический электролиз (PV-electrolysis)	Вода / Фотонная	Фотоэлектрические панели используются для выработки электроэнергии, для электролиза воды
М8. Высокотемпературный электролиз (High temperature electrolysis)	Вода / Электрическая + тепловая	Электрическая и тепловая энергия используются вместе для разделения воды при высоких температурах

М9. Газификация угля (Coal gasification)	Ископаемое топливо / Электрическая + Тепловая	Преобразования угля в синтез-газ
М10. Искусственный фотосинтез (Artificial photosynthesis)	Биомасса + Вода / Фотонная + Биохимическая	Сконструированные системы имитируют фотосинтез для получения H_2

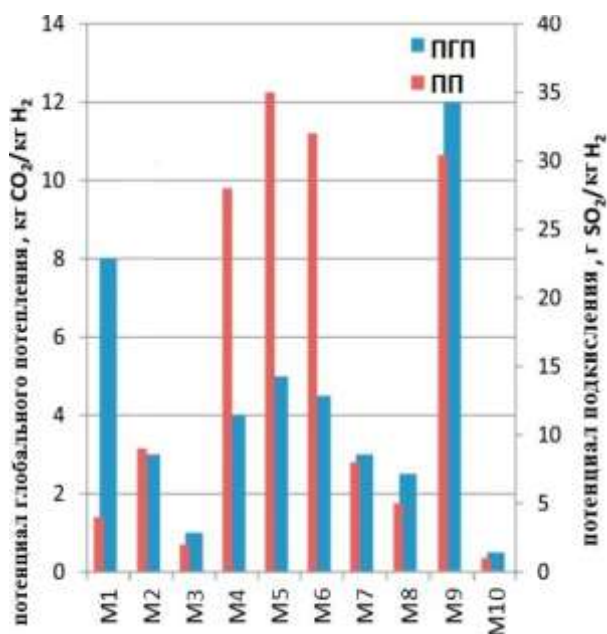


Рис. 1. Выбросы вредных веществ при производстве водорода

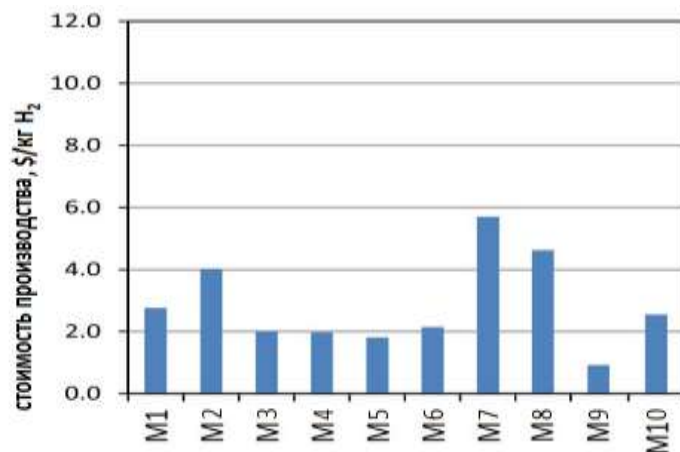


Рис. 2. Усредненные издержки при производстве водорода, \$/кг

Сравнение энергоэффективности и эксергетической эффективности. Эффективность определяется как полезный результат от потребляемого входного материала. Согласно данным исследований, значения энергоэффективности (Энергия, %) и эксергетической

эффективности (Эксергия, %) представлены на рис. 3 [1].

Для перевода значений энергоэффективности (Энергия, %) и эксергетической эффективности (Эксергия, %) использовалась следующая формула (1):

$$Rank(Metod i) = Efficiency(Metod i) \quad (1)$$

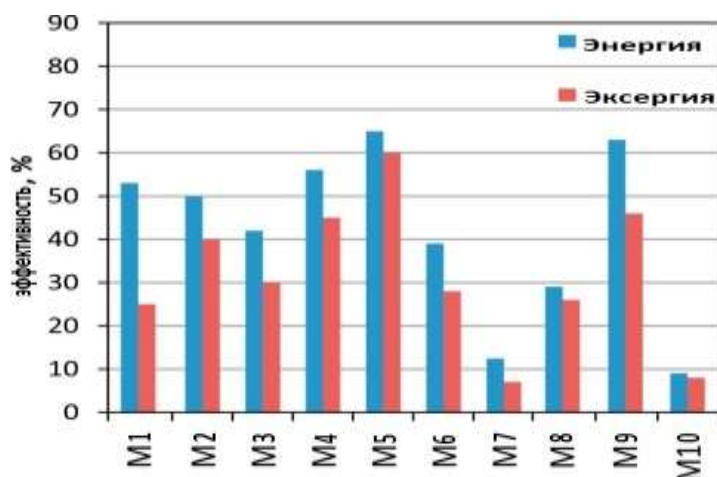


Рис. 3. Отношение эффективности к эксергетическим показателям

Таблица 2

Общее сравнение методов

Метод	Энерго- эффективность	Эффективн. эксергии	Стоимость	ПГП	ПП
М1. Электролиз	53,0	25,0	73,4	33,3	88,6
М2. Термолиз	50,0	40,0	61,2	75,0	74,3
М3.Термохимическ ий процесс расщепления воды	42,0	30,0	80,6	91,7	94,3
М4. Преобразование биомассы	56,0	45,0	81,0	66,7	20,0
М5. Газификация биомассы	65,0	60,0	82,5	58,3	0,0
М6. Реформинг биомассы	39,0	28,0	79,3	62,5	8,6
М7.Фотоэлектричес кий электролиз	12,4	7,0	45,0	75,0	77,1
М8.Высокотемпера турный электролиз	29,0	26,0	55,4	79,2	85,7
М9. Газификация угля	63,0	46,0	91,1	0,0	13,1

М10.Искусственный фотосинтез	9,0	8,0	75,4	95,8	97,1
Идеальный метод (нулевые выбросы и стоимость производства, 100 % эффективность)	100	100	100	100	100

Для перевода значений стоимости, ПГП и ПП использовалась следующая формула (2):

$$Rank(Metod i) = \frac{Max - Metod i}{Max} 100 \quad (2),$$

где *Max* – максимальное значение параметра.

В данной статье приведена сравнительная оценка экологических, финансовых, и технических характеристик 10 выбранных методов производства водорода.

На основе представленных данных можно сделать вывод, что в настоящее время нет универсального метода производства водорода, который был бы одновременно недорогим, экологически чистым и при этом достаточно эффективным. Однако в настоящее время методы производства водорода улучшаются учеными, а это приблизит их к идеальному методу.

Список использованной литературы

1. Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability [Электронный ресурс] URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914034119> (дата обращения: 13.11.2017)

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ КАФЕДРЫ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ» ПРИ ПОДГОТОВКЕ МАГИСТРОВ